Ueber das Gattieren synthetischer Formsande mit Hilfe ihrer spezifischen Oberfläche.

Von der

Technischen Hochschule in Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von

Diplomingenieur Hanns Teuber aus Gleiwitz (O.-S.).

Referent:
Professor Diepschlag.

Korreferent:
Professor Dr. Neumann.

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Mai 1931.

Düsseldorf
Gießerei-Verlag, G. m. b. H.
1931

*24565

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Ueber das Gattieren synthetischer Formsande mit Hilfe ihrer spezifischen Oberfläche.

Während man die groben Korngrößen der Formsande schon oft mit ihren Eigenschaften in Beziehung gebracht hat, findet man im Schrifttum bis auf eine frühere Veröffentlichung[1]) kaum Untersuchungen, die sich mit den feinsten Korngrößen näher befassen. Es sind dieses die Größen, mit denen die Formsande gewichtmäßig am wenigsten ausgestattet sind, und denen man vielleicht deshalb geringere Bedeutung beigemessen hat.

Aber die Natur des Fomsandes wird nicht allein durch die Größe und Menge der groben Körnungen gekennzeichnet, sondern auch durch die feinen und feinsten Bestandteile. Zwar ist es nicht leicht, eine bestimmte Grenze zwischen diesen beiden Gruppen zu ziehen; jedoch sei sie für diese Abhandlung mit einem Korndurchmesser von 50 μ festgelegt, einer Größe, die durch Sieben noch einwandfrei gemessen werden kann. Die darüberliegenden Korngrößen seien mit Grobkorn, die darunterliegenden mit Feinkorn bezeichnet. Teilchengrößen von 0,5 bis 1 μ werden als feine Emulsion, von 2 bis 15 $\mu\mu$ als Suspensoidsol und Größen von 0,8 bis 0,1 $\mu\mu$ als wahre Moleküle gekennzeichnet. Entsprechend der Natur der Formsande besteht das Grobkorn überwiegend aus Quarz, das Feinkorn aus Ton.

Das Grobkorn wird durch fraktioniertes Absieben in eine beliebige Zahl von Korngrößenklassen getrennt, deren Gewichtsanteile unmittelbar bestimmt werden. Zu beachten ist dabei, daß die Schüttelbewegung beim Sieben gleichartig erfolgt; die besten Erfahrungen werden mit Sieben aus Seidengaze, nach Aulich, gemacht. Die Feinkorne können nur mit Hilfe eines Ablagerungsverfahrens getrennt werden, wie es schon von G. Wiegner und J. L. Francis[2]) sowie von L. Zunker bei Bodenbestimmungen angewendet wurde.

Das Verfahren beruht darauf, aus der Fallgeschwindigkeit eines kleinen Massenteilchens in einem Medium seine Teilchengröße zu berechnen und ferner aus der durch Ablesungen sich ergebenden Fallkurve den prozentualen Anteil der in einem Feinstoffgemisch enthaltenen Korngrößen zu bestimmen. Die Versuchsanordnung ist in der früheren Veröffentlichung beschrieben[3]).

Die Grundfallzeit T_0, das heißt die Zeit, die ein 1 mm Dmr. starkes Korn benötigt, um die Strecke von 1 m herunterzufallen, berechnet sich nach dem Gesetz, das Stokes bereits 1850 für die Fallgeschwindigkeit grobzerteilter Stoffe, z. B. Regentropfen usw., aufgestellt hat. Bedeutet

g = die Erdbeschleunigung in cm/sek^2,
η = innere Flüssigkeitreibung oder Zähigkeit,
s = spezifisches Gewicht der Aufschlämmung,
w = spezifisches Gewicht des destillierten Wassers,
C^0 = Temperatur des Raumes,

so ergibt sich:

$$T_0 = \frac{C^0 \cdot \eta \cdot 10^4}{g \cdot (s - w)} = \text{sek.}$$

Dieses Gesetz gilt nach Perrin[4]) auch für Teilchen von 1 μ Dmr., also für bereits kolloide Abmessungen, und A. Einstein wandte es 1905 auch für ultramikroskopische Teilchen mit Erfolg an.

Man erkennt daraus, daß das Stokessche Gesetz für einen sehr breiten Raum des zerteilten Stoffes seine Gültigkeit noch behält und geeignet ist, den Zusammenhang zwischen kolloiddispersen Teilchen und wahren Molekülen oder den Zusammenhang zwischen fest und flüssig darzutun.

Für jeden beliebigen Korndurchmesser d_x und eine Fallhöhe von ℓ mm ergibt sich eine Fallzeit von

$$T_x = T_0 \cdot \frac{\ell}{1000 \cdot d_x^2} = \text{sek.}$$

Bei der Zunkerschen Ablagerungseinrichtung beträgt die Fallhöhe = 398,8 mm = ~ 400 mm.

Die Druckhöhenlinie ist nichts anderes als die Umkehrung der Fallkurve.

Zur Ermittlung der Gewichtsanteile der einzelnen Korngrößen ist es erforderlich, die Beziehung zwischen der Lebens- oder Fallzeit der Korngrößen und ihrem Gewichtsanteil für die beobachtete Druckhöhenlinie aufzusuchen. Die Beziehung zwischen dem Gewicht der aus einer Aufschlämmung auf den Boden fallenden Teilchen und der Teilchengröße hat Sven Oden[5]) ermittelt.

Dabei ist die Anfangsdruckhöhe H[6]) verhältnisgleich der Gesamtmenge G der aufgeschlämmten Teilchen und die jeweilige Druckhöhe h_t verhältnisgleich der Gewichtsmenge $G - G_t$. Befindet sich also eine einzige Korngröße mit der Lebenzeit T und der Anfangsdruckhöhe H innerhalb der Strecke ℓ der Fallröhre, so würden nach der Zeit $t = \frac{T}{n}$ die Teilchen sämtlich um $\frac{\ell}{n}$ gefallen sein, die Druckhöhe wäre

[1]) Die Gießerei 1926, S. 115.
[2]) Iron Steel Ind., Brit. Foundryman 1928, S. 171.
[3]) Die Gießerei 1926, S. 149.
[4]) J. Perrin: Die Atome.
[5]) Internat. Mitt. für Bodenkunde 1915, S. 257.
[6]) Die Gießerei 1926, S. 149, Abb. 4.

um $\frac{H}{n}$ gesunken und müßte dann

$$h_t = H - \frac{H}{n}$$

betragen. Nach Einsetzen von $n = \frac{T}{t}$ in diese Gleichung ergibt sich:

$$h_t = H \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right).$$

Die Druckhöhenlinie für jede Korngröße wird also eine Gerade mit der Anfangsordinate H und der Endabszisse T sein. Die Anfangsdruckhöhen sind nun den Gewichten der Kornmengen in der Aufschlämmung verhältnisgleich und die Gewichtsmenge der Korngröße d_x mit der Anfangsdruckhöhe H_x in einem Korngemisch von G Gramm mit der Anfangsdruckhöhe H:

$$\frac{G_x}{G} = \frac{H_x}{H}.$$

Somit wird der Gewichtsanteil der Korngröße d_x:

$$G_x = \frac{H_x}{H} \cdot G\,\%.$$

Die Fallkurve muß stetig verlaufen; das heißt sie darf keine Halte- und Knickpunkte zeigen. Bei den groben Körnern ist es einfach, eine Fallkurve mit nur einem Krümmungsinn zu erhalten, da die Schwerkraft stark genug ist, alle in der Aufschlämmung wirkenden inneren Kräfte zu überwinden. Anders verhält sich dagegen der Ton. Hier können anziehende oder abstoßende Kräfte die Ablagerung beschleunigen oder auch verzögern; man beobachtet die bekannten Erscheinungen des Ausflockens und der Hydratisierung.

Bei Ton in einer Mischung grob- und feindisperser Teilchen beobachtet man, daß er in der Niederschlagsröhre von Zunker sich unter gewöhnlichen Bedingungen, das heißt in destilliertem Wasser, innerhalb weniger Minuten absetzen kann, ohne irgendwelche Trübung im Wasser zu hinterlassen. Die Teilchen ballen sich während des Niedergehens zu größeren Flocken zusammen und fallen rasch ab. Diese Erscheinung, das Ausflocken oder Koagulieren genannt, kann ohne weiteres durch die elektrische Entladungstheorie erklärt werden, wenn man voraussetzt, daß die Auf- und Entladung durch die Ionen des Wassers selbst erfolgt. A. Fodor und E. Schönfeld[7]) haben Alkaliarten, die für die praktische Bodenkunde in Betracht kommen, z. B. Ammonium-, Natrium- und Kalziumhydroxyd, und ihre Wirkung auf die Ablagerungsgeschwindigkeit bzw. auf das Senkungsvolumen verschiedener Tonsorten untersucht mit dem Ergebnis, daß das Ammoniumhydroxyd selbst in großen Mengen die Zusammenballung eines Tones nicht so bewirkt, wie es entsprechende Mengen von Natrium- oder Kalziumhydroxyd tun.

Betrachtet man eine Tonausscheidung unter dem Ultramikroskop, so stellt man bei allmählichem Zusatz von Ammoniak (OH) oder Natriumkarbonatlösung[8]) fest, daß zunächst die groben Teile in lebhafte Brownsche Bewegung geraten, das heißt über die ganze Lösung verteilt werden und so die bereits vorhandene gallertige Beschaffenheit sichtbar machen.

Ob man eine elektrische Aufladung der Tonoberfläche und eine Hydrathüllenbildung um ein Tonteilchen zum Ausgangspunkt der Untersuchung macht oder ob man schließlich auch einen Adsorptionsvorgang bei der für die Untersuchungen nötigen Sichtbarmachung des Kolloidtones annimmt, immer sind gewisse Kräfte bei der Ablagerung durch Hinzufügen von Elektrolyten, die auf den Formsand und insbesondere den Ton abgestimmt sein müssen, zu neutralisieren.

Zahlentafel 1 und Abb. 1 enthalten Adsorptionswerte von verschiedenen Elektrolytzusätzen verschiedener Konzentrationen, die dazu dienten, den für Kaolin geeignetsten Elektrolyten zu bestimmen.

Zahlentafel 1. Adsorption von verschiedenen Elektrolytzusätzen durch Kaolin.

	c_0 g	$c_0 - x$ g	x g	Relative Adsorption %
		Aetznatron:		
n/6,6	1,2036	1,2026	0,0010	0,09
n/20,3	0,3853	0,3646	0,0208	5,39
n/51,4	0,1568	0,1417	0,0151	9,64
n/98,5	0,0812	0,0680	0,0132	16,28
		Chlorwasserstoff:		
n/8,4	0,8646	0,8602	0,0044	0,51
n/16,8	0,4345	0,4242	0,0101	2,32
n/41,5	0,1755	0,1667	0,0088	5,02
n/95,2	0,0766	0,0680	0,0086	11,18
		Natriumkarbonat:		
n/9,6	1,1010	1,0710	0,0300	2,72
n/20	0,5295	0,5055	0,0240	4,53
n/51,7	0,2052	0,1902	0,0150	7,31
n/93	0,1151	0,0976	0,0175	15,2
		Schwefelsäure:		
n/9,4	1,0417	1,0092	0,0325	3,12
n/19,9	0,4840	0,4633	0,0207	4,28
n/52,8	0,1759	0,1741	0,0018	10,2
n/127,8	0,0767	0,0673	0,0094	12,25

Bezeichnet

c_0 = ursprüngliche Konzentration des Elektrolyten,
c_0—x= Konzentrationsbefund nach der Adsorption,
x = adsorbierte Menge,

so ergibt sich die relative Adsorption in Prozent von der Anfangskonzentration. Das filtrierte Kaolin behält die in ihm durch den Elektrolytzusatz hervorgerufenen Eigenschaften, auch wenn es mit destilliertem Wasser ausgewaschen wird. Erst durch tagelanges Stehen in destil-

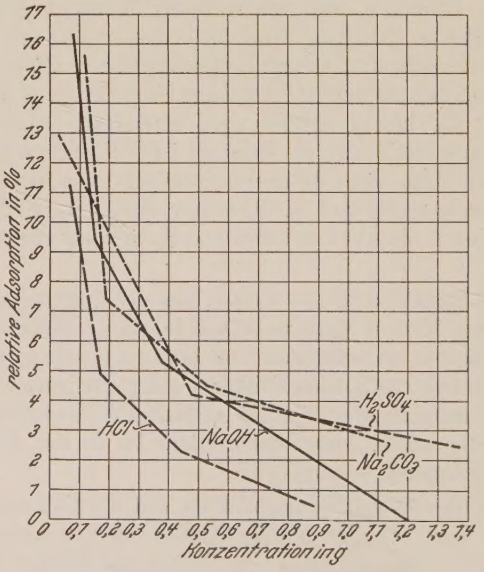

Abbildung 1. Relative Adsorption von NaOH, HCl, Na_2CO_3, H_2SO_4.

[7]) Kolloidchem., Beihefte 1924, Nr. 19.

[8]) Diepschlag: Konstitution der Formsande. Die Gießerei 1926, S. 150/51.

liertem Wasser ist die adsorbierte Menge des Elektrolyten entfernbar.

Es mag erwähnt werden, daß die Oberflächenenergie natürlich mit der Temperatur des Lösungsmittels zunehmen muß und durch Temperaturwechsel beim Sedimentieren trotz gleicher Normallösungen grundverschiedene Fallzeiten der einzelnen Teilchengrößen erhalten werden. Deshalb wurde für diese vergleichenden Bestimmungen stets eine Raumtemperatur von 18 bis 20° gehalten.

Um nun den Einfluß des Feinkornes auf die Eigenschaften des Formsandes festzustellen, erschien es ratsam, durch Mischung von möglichst reinem Quarzsand mit reinem Kaolin synthetische Sande herzustellen, damit den Untersuchungen möglichst vereinfachte Verhältnisse zugrunde lagen. Zuvor war es aber zweckmäßig, an einer Reihe natürlicher Formsande festzustellen, wie groß darin der Anteil an Feinkorn üblicherweise ist. Auf Grund eines solchen Befundes konnten dann die synthetischen Mischungen festgelegt werden. Heran gezogen für die Versuche wurden:

1. Süchtelner Formsand,
2. Schleudersand der Marienhütte,
3. Albanyformsand (amerikanischer),
4. Fürstenwalder Formsand,
5. Bottroper Formsand (grob, mager),
6. grüner Stahlsand,

und zwar wurden jedesmal 100 g lufttrockenen Sandes eingewogen, der Feuchtigkeitgehalt bestimmt und die Proben durch fünfmaliges Kochen in destilliertem Wasser so aufgeschlämmt, daß an der Grobkörnung keine kolloide Substanz mehr hängenblieb. Die Feinkörnung wurde dekantiert, eingedampft und mit 800 g destilliertem Wasser in der Rotiermaschine 3 st unter Zusatz von 0,43 g Na_2CO_3 — diese entsprechen in diesem Falle einer n-100-Lösung — geschüttelt und diese Aufschlämmung in der Zunkerschen Sedimentiervorrichtung durch Aufnahme der eingangs erwähnten Fallkurve gemessen und die Gewichtsanteile der einzelnen Feinkorngrößen durch die Tangentenkonstruktion[9]) an die Schnittpunkte der als Abszissen im Koordinatensystem aufgetragenen Lebenzeiten mit der Fallkurve graphisch ermittelt.

Die aus den spezifischen Gewichten für die einzelnen Formsande errechneten Grundfallzeiten sind:

Formsand	Spezifisches Gewicht	Grundfallzeit T_0 sek
Süchteln	2,545	1,261
Schleudersand	2,4941	1,305
Albany	2,3852	1,405
Fürstenwalde	2,8289	1,126
Bottrop	2,6928	1,182
Grüner Stahlsand	2,2092	1,66

In Zahlentafel 2 sind für die sechs natürlichen Sande die Standdauer und die zugehörigen Druckhöhenunterschiede enthalten.

[9]) Zunker: Landwirtsch. Jahrb. 1923, Heft 2, S. 164.

Zahlentafel 2. Druckhöhenunterschiede in Millimeter in Abhängigkeit von der Standdauer.

Standdauer min	Süchteln	Marienhütte	Albany	Fürstenwalde	Bottrop	Stahlsand
0	3,6	5,1	1,2	5,2	4,8	3,7
2	3,5	4,8	1,1	4,8	4,65	3,5
4	3,4	4,2	0,7	4,5	4,6	3,4
6	3,3	4,1	0,7	4,3	4,5	3,35
8	3,2	4,0	0,7	4,2	4,4	3,25
15	2,9	3,4	0,6	3,8	4,2	3,20
25	2,6	3,0	0,6	3,4	3,9	3,15
40	2,4	2,8	0,6	2,8	3,6	3,15
80	2,3	2,4	0,4	2,2	3,3	3,0
180	1,9	2,0	0,2	1,6	2,8	3,0
465	1,4	1,4	0,1	1,4	2,3	2,8

Aus diesen Werten sind die Fallkurven der Sande abgeleitet und in Abb. 2 wiedergegeben. Es ist daraus zu ersehen, daß teilweise recht erhebliche Unterschiede zwischen den

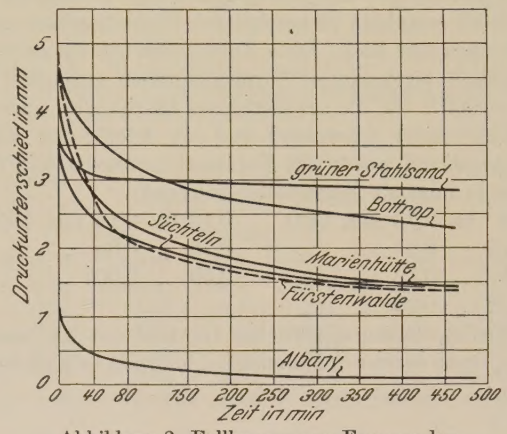

Abbildung 2. Fallkurven von Formsanden.

einzelnen Sandsorten vorhanden sind. Aus den Werten der Zahlentafel 2 sind die Lebenzeiten der einzelnen Feinkorngrößen der Sande berechnet (Zahlentafel 3).

Ferner sind nun aus diesen Unterlagen die prozentualen Anteile der Feinkorngrößen bei den 6 Formsanden berechnet und in Zahlentafel 4 wiedergegeben.

Zahlentafel 4. Untersuchung über den prozentualen Anteil der Korngrößen im Tongehalt verschiedener Formsande.

Korngröße Durchmesser mm	Süchteln %	Schleudersand Marienhütte %	Albany (amerikanisch) %	Fürstenwalde %	Bottrop %	Stahlsand, grün %
0,1—0,05	2,7	2,05	8,40	3,40	0,00	2,78
0,02	5,0	21,60	41,60	11,58	5,42	11,20
0,01	23,4	21,60	0,00	23,15	20,90	2,78
0,005	7,1	8,65	25,00	16,38	8,32	2,78
0,002—00	62,3	46,20	25,00	45,50	65,50	80,50
	100,5	100,10	100,00	100,01	100,14	100,04

Auf den Gesamtformsand berechnet, beträgt der prozentuale Anteil der Feinkörnung beim Süchtelner Formsand

Zahlentafel 3. Lebenzeit der Feinkorngrößen.

d_x Dmr. mm	Lebenzeit T_x	Süchtelner Formsand st	min	sek	Schleudersand der Marienhütte st	min	sek	Albany-formsand st	min	sek	Fürstenwalder Formsand st	min	sek	Bottroper Formsand st	min	sek	Grüner Stahlsand st	min	sek	
0,1	$40 \cdot T_0$			50			52			56			45			47		1	6	T_1
0,05	$160 \cdot T_0$		3	22		3	29		3	45		2	58		3	9		4	26	T_2
0,02	$1\,000 \cdot T_0$		21	1		21	45		23	25		18	46		19	42		27	40	T_3
0,01	$4\,000 \cdot T_0$	1	24	10	1	27	5	1	33	40		75	0	1	18	50	1	50	0	T_4
0,005	$16\,000 \cdot T_0$	5	36	40	5	48	20	6	15	0	4	56	40	5	15	20	7	23	20	T_5
0,002	$100\,000 \cdot T_0$	35	1	40	36	15	0	39	1	40	31	16	40	32	50	0	46	6	40	T_6
0,001	$400\,000 \cdot T_0$	140	16	40	145	8	20	156	6	40	125	0	0	130	33	20	183	20	0	T_7

14,225 %, beim Schleudersand Marienhütte 17,6 %, beim Albanyformsand 10 %, beim Fürstenwalder Formsand 17,05 %, beim Bottroper Formsand 15,5 % und beim grünen Stahlsand 13,3 %.

Bis zu 50 μ sind die Unterschiede der Kornmengen nicht groß; erst von 20 μ abwärts streuen die Anteile beträchtlich; besonders in den Größen 2 μ bis herab zum Molekül, das vorläufig als unendlich klein bezeichnet werden soll, sind die Unterschiede am größten. Die kolloiden Bestandteile der untersuchten Formsande bewegen sich in den Grenzen von 25 bis 80 %. Wenn man bedenkt, daß das Feinkorn in diesen Sanden nur in Mengen von 8 bis 15% schwankt, so ist erklärlich, daß auf den ersten Blick sein Einfluß nicht besonders eingeschätzt wird.

Auf Grund dieser Ermittlungen ließen sich nun die Bedingungen für die Prüfungen an synthetischen Sanden festlegen. Wenn ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Feinkorn und den Eigenschaften der Formsande vorhanden ist, so spielen voraussichtlich die Korngrößen um 2 μ und weniger eine Rolle. Diese Korngrößen müssen also in den synthetisch hergestellten Formsandproben enthalten sein. Ausgangstoffe für die synthetischen Mischungen waren ein möglichst reiner Quarzsand und ein Adolfhütter Kaolin. Der Quarzsand wurde aus Flußsand gewonnen und durch Sieben in folgende Korngrößen getrennt:

1,0 bis 0,75 mm Dmr.		0,19 bis 0,15 mm Dmr.	
0,75 „ 0,5 „	„	0,15 „ 0,05 „	„
0,5 „ 0,32 „	„	0,05 „ 0,005 „	„
0,32 „ 0,19 „	„		

Das Kaolin, dessen spezifisches Gewicht mit 2,2 ermittelt wurde, ergab bei der Sedimentation folgende Lebenzeiten[10]):

d_x Durchmesser mm	Lebenzeit T_x	st	min	sek	
0,1	40 · T_0		1	3	T_1
0,05	160 · T_0		4	20	T_2
0,02	1 000 · T_0		27	22	T_3
0,01	4 000 · T_0	1	48	20	T_4
0,005	16 000 · T_0	7	13	20	T_5
0,002	100 000 · T_0	45	3	20	T_6
0,001	400 000 · T_0	180	33	20	T_7
0,000002	100 000 000 000 · T_0	1 878 000 Tage			T_8

Gemäß diesen Ergebnissen ist die Korngröße 5 μ nach 7 st 13 min abgesetzt. Wenn man demnach in einem Standgefäß eine Aufschlämmung des Kaolins nach dieser Zeit abhebert, so enthält der Bodensatz Korngrößen über 5 μ. Die abgeheberte Trübe kann in einem zweiten Standgefäß zu weiterem Absitzen gebracht werden. Nach weiteren 45 st 3 min enthält der Bodensatz die Korngrößen von 5 bis 2 μ. Auf diese Weise kann man jede Teilchengröße abscheiden und gewinnen. Um eine beschleunigte Gewinnung der letzten feinsten Teilchen herbeizuführen, wurde die Aufschlämmung mit einer n/237-Chlorwasserstofflösung versetzt, wodurch eine schnelle Ausflockung eintrat. Die Frage, ob etwa der koagulierte Ton in den synthetischen Formsandmischungen sich ungünstig verhalten könne, wurde durch Versuche dahin beantwortet, daß ein Unterschied in den Eigenschaften von Formsandkörpern (Festigkeit und Gasdurchlässigkeit) aus Sedimentationen mit verschiedenen Elektrolyten nicht besteht, wie Zahlentafel 5 zu erkennen gibt. Die mit n/300-Natriumkarbonatlösung versetzte Aufschlämmung sedimentierte nach sechs Monaten.

Aus einzelnen Quarzkornklassen, vermischt mit bestimmten Mengen Kaolinkorngrößen, wurden Probekörper hergestellt, die auf Standfestigkeit und Gasdurchlässigkeit

[10]) Die Gießerei 1926, S. 149.

Zahlentafel 5. Vergleich von Festigkeit und Gasdurchlässigkeit von Formsandprobekörpern, die einmal mit n/300-Natriumkarbonatlösung und zweitens mit n/237-Chlorwasserstofflösung sedimentiertem Kaolin hergestellt wurden.

Quarzkorngröße mm Dmr.	0,5—0,32	0,5—0,32
Kaolinkorngröße mm Dmr.	0,001 — ∞	0,001 — ∞
Festigkeit . . . . kg/cm²	3,2 trocken	3,41 trocken
	6,46 geglüht	6,53 geglüht
Gasdurchlässigkeit cm³/cm³ u. min	9,93 feucht	9,15 feucht
	14,00 trocken	13,7 trocken
	14,40 geglüht	14,8 geglüht
Elektrolyt	n/300-Na_2CO_3	n/237-HCl

untersucht wurden. Die Kaoline wurden getrocknet und sorgfältig mit den trockenen Quarzkörnern gemischt, wobei sich der Tonzusatz in den Grenzen von 5 bis 25%, um je 5% steigend, bewegte. Es kam darauf an, möglichst zahlreiche Versuchsreihen zu erhalten. Nach der Mischung in trockenem Zustand wurde so viel Wasser zugesetzt, daß die Masse verformbar wurde. Mit steigendem Kaolinzusatz stieg auch die nötige Wassermenge.

Die aus den vorerwähnten Mischungen hergestellten Formsandkörper werden in einem Metallzylinder von 50 mm lichter Weite unter Aufwendung einer Stampfarbeit von 1 mkg verdichtet. Nach dem Stampfen muß der Probekörper eine Höhe von genau 5 cm haben. Dementsprechend ist beim Einfüllen der Sandmischung deren Menge zu bemessen. Es zeigt sich dabei, daß bei gleicher Stampfarbeit die für einen Probekörper zu verwendende Sandmenge verschieden ist; ihr Gewicht nimmt zu mit steigendem Kaolingehalt und

Zahlentafel 6. Formsand- und Wasserverbrauch für einen Probekörper bei verschiedenen Kaolinzusätzen.

Quarzkorngröße Durchmesser mm	Tongehalt 5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Wasserzusatz . %	8	10	12	14	18
1,0 bis 0,75	158,4	163,0	170,0	180,8	185,0
0,75 „ 0,5	150,0	152,6	165,9	179,2	183,0
0,5 „ 0,32	147,4	154,5	163,8	171,3	179,4
0,32 „ 0,19	146,8	150,2	157,8	166,3	169,4
0,19 „ 0,15	145,0	146,0	151,5	156,8	162,0
0,15 „ 0,05	142,0	145,0	146,6	147,4	153,7
0,05 „ 0,005	139,0	141,0	143,4	144,0	147,3

fällt mit zunehmender Quarzkorngröße. Die Kaolinkorngröße spielt hierbei nur eine untergeordnete Rolle. Zahlentafel 6 und Abb. 3 zeigen diese Abhängigkeiten.

Die so hergestellten Probekörper wurden feucht und nach deren Erhitzen auf 200° und 1000° einer Prüfung auf Standfestigkeit und auf Gasdurchlässigkeit unterzogen. Alle Ergebnisse sind Mittelwerte aus drei Bestimmungen. Es ist vorläufig gleichgültig, mit welchen Hilfsmitteln solche Prüfungen stattfinden. Solange die Prüfmethoden nicht genormt sind, ge-

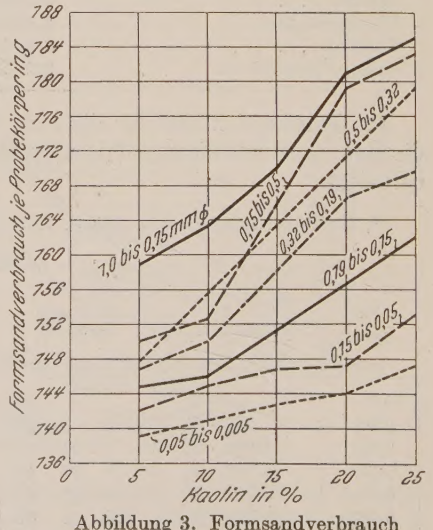

Abbildung 3. Formsandverbrauch bei steigendem Tongehalt.

nügt es, Werte zu schaffen, die untereinander einen einwandfreien Vergleich gestatten. Mit Rücksicht auf eine gleichmäßige Verdichtung der Proben ist es immer erstrebenswert, kleine Probekörper zu benutzen. Die Festigkeit wurde wie früher[11]) mit einer Vorrichtung geprüft, die lediglich einer einfachen Druckprüfmaschine entspricht. Ebenso wurde zur Bestimmung der Gasdurchlässigkeit das von den Amerikanern angewandte Verfahren benutzt, welches die Zeit angibt, in der eine bestimmte Luftmenge bei bestimmtem Druckgefälle durch den Probekörper tritt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Zahlentafeln 7, 8, 9, 10, 11, 12 sowie in den Abbildungen 4 bis 8 wiedergegeben.

Zahlentafel 7. Kaolinkorngröße 0,005 bis 0,002 mm Dmr. (Festigkeit in kg/cm².)

Quarzkorngröße Durchmesser mm	Tongehalt 5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Bei 200° getrocknet:					
1,0 bis 0,75	0,38	0,73	0,66	1,82	2,65
0,75 „ 0,5	0,42	0,85	0,973	2,24	3,2
0,5 „ 0,32	0,5	1,33	1,405	3,2	4,86
0,32 „ 0,19	1,64	2,65	3,57	4,15	4,97
0,19 „ 0,15	2,87	3,26	4,49	5,62	5,81
0,15 „ 0,05	4,06	4,61	5,97	6,84	7,5
0,05 „ 0,005	5,38	6,27	7,98	10,35	11,49
Bei 1000° geglüht:					
1,0 bis 0,75	0,94	1,52	1,69	3,2	6,9
0,75 „ 0,5	1,23	1,95	2,38	4,58	5,75
0,5 „ 0,32	1,54	2,9	4,59	5,15	8,12
0,32 „ 0,19	3,06	4,31	5,34	8,1	9,02
0,19 „ 0,15	4,19	5,31	6,64	9,17	11,64
0,15 „ 0,05	5,72	7,01	7,78	9,64	12,00
0,05 „ 0,005	6,75	8,87	10,45	13,18	16,8

Zahlentafel 8. Kaolinkorngröße 0,002 bis 0,001 mm Dmr. (Festigkeit in kg/cm².)

Quarzkorngröße Durchmesser mm	Tongehalt 5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Bei 200° getrocknet:					
1,0 bis 0,75	0,83	1,14	1,23	2,3	3,26
0,75 „ 0,5	1,06	1,43	1,72	2,81	3,69
0,5 „ 0,32	1,08	1,38	2,24	3,84	5,6
0,32 „ 0,19	2,54	3,61	4,78	5,16	5,87
0,19 „ 0,15	3,15	4,69	5,32	6,41	7,38
0,15 „ 0,05	5,82	6,72	9,21	11,2	12,4
0,05 „ 0,005	9,27	10,75	14,34	16,5	18,8
Bei 1000° geglüht:					
1,0 bis 0,75	1,64	2,18	2,41	3,69	5,6
0,75 „ 0,5	2,52	3,00	3,32	5,69	6,91
0,5 „ 0,32	2,41	3,2	5,64	8,37	8,14
0,32 „ 0,19	4,16	5,64	6,37	7,48	9,31
0,19 „ 0,15	4,82	6,38	7.84	10,12	13,48
0,15 „ 0,05	6,34	8,81	10,78	13,2	16,4
0,05 „ 0,005	11,6	13,6	15,8	19,1	22,2

In bezug auf die Festigkeitwerte wird eine Zunahme festgestellt

1. zwischen der bei 200° getrockneten und der bei 1000° geglühten Probe,
2. mit Zunahme des Kaolingehaltes,
3. mit Abnahme der Quarzkorngröße.

Die Gasdurchlässigkeit steigt:

1. im allgemeinen mit Zunahme der Glühung,
2. mit Zunahme der Quarzkorngröße,
3. mit Abnahme der Kaolinkorngröße, wenigstens bis zu 1 μ Dmr.,
4. mit Zunahme der Kaolinmenge.

[11]) Die Gießerei 1926, S. 125.

Zahlentafel 9. Kaolinkorngröße 0,001 bis 0,000002 mm Durchmesser. (Festigkeit in kg/cm².)

Quarzkorngröße Durchmesser mm	Tongehalt 5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Bei 200° getrocknet:					
1,0 bis 0,75	1,93	2,78	2,68	5,54	7,4
0,75 „ 0,5	2,32	3,46	4,03	6,20	8,14
0,5 „ 0,32	2,67	3,2	5,45	8,81	12,3
0,32 „ 0,19	5,61	7,39	10,93	12,65	14,86
0,19 „ 0,15	7,12	9,63	11,6	14,25	16,76
0,15 „ 0,05	11,61	15,5	16,3	19,0	23,1
0,05 „ 0,005	18,2	19,6	23,4	21,1	29,4
Bei 1000° geglüht:					
1,0 bis 0,75	2,84	3,64	5,17	9,92	14,61
0,75 „ 0,5	4,17	5,81	7,97	11,37	17,38
0,5 „ 0,32	4,95	6,46	10,81	14,1	19,71
0,32 „ 0,19	8,93	9,84	13,54	16,4	23,3
0,19 „ 0,15	12,79	14,82	19,2	22.14	25,5
0,15 „ 0,05	16,43	18,90	21,3	25,17	26,91
0,05 „ 0,005	22,57	24,80	27,7	32,51	35,1

Zahlentafel 10. Gasdurchlässigkeit in cm³ Luft/cm³ Sand und Minute. Kaolinkorngröße 0,005 bis 0,002 mm Durchmesser.

Quarzkorngröße Durchmesser mm	Tongehalt 5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Feucht:					
1,0 bis 0,75	52,6	39,2	21,4	3,44	0,58
0,75 „ 0,5	33,5	23,8	10,53	2,48	1,07
0,5 „ 0,32	18,55	12,85	7,4	2,49	0,454
0,32 „ 0,19	10,31	5,27	2,39	0,963	0,264
0,19 „ 0,15	6,83	4,17	2,35	1,22	0,243
0,15 „ 0,05	3,55	1,76	0,97	0,63	0,350
0,05 „ 0,005	0,262	0,147	0,078	0,046	0,021
Bei 200° getrocknet:					
1,0 bis 0,75	86,4	50,5	24,4	6,6	2,95
0,75 „ 0,5	53,2	28,2	14,0	4,94	2,49
0,5 „ 0,32	28,1	18,9	9,92	4,38	1,24
0,32 „ 0,19	12,0	6,73	3,93	2,742	0,34
0,19 „ 0,15	7,22	4,83	2,86	1,76	0,291
0,15 „ 0,05	3,84	1,96	1,11	0,85	0,17
0,05 „ 0,005	0,40	0,31	0,26	0,22	0,08
Bei 1000° geglüht:					
1,0 bis 0,75	88,78	57,6	26,8	5,65	0,945
0,75 „ 0,5	54,1	33,8	17,6	5,06	2,53
0,5 „ 0,32	30,7	24,7	12,9	2,35	5,55
0,32 „ 0,19	13,35	7,35	3,81	2,142	0,682
0,19 „ 0,15	7,76	5,31	3,14	1,94	0,441
0,15 „ 0,05	4,26	2,45	1,64	1,12	0,268
0,05 „ 0,005	0,483	0,39	0,271	0,23	0,087

Nach W. Ostwald[12]) werden kolloide Systeme am besten durch den Dispersitätsgrad gekennzeichnet. Diesen kann man durch die spezifische Oberfläche zum Ausdruck bringen, das heißt das Verhältnis der absoluten Oberfläche der gesamten dispersen Phase zu ihrer Gesamtvolumenfläche.

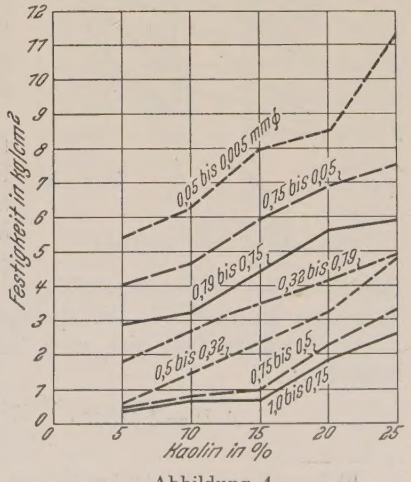

Abbildung 4.
Festigkeit (bei 200° getrocknet).

[12]) Grundriß der Kolloidchemie 1912, S. 29.

Zahlentafel 11. Gasdurchlässigkeit in cm³ Luft/cm³ Sand und Minute. Kaolinkorngröße 0,002 bis 0,001mm Durchmesser.

Quarzkorngröße Durchmesser mm	Tongehalt 5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Feucht:					
1,0 bis 0,75	53,9	43,15	23,14	5,17	0,642
0,75 „ 0,5	36,1	25,64	11,78	4,23	2,71
0,5 „ 0,32	20,34	13,24	9,00	4,28	2,16
0,32 „ 0,19	12,13	6,94	4,19	2,64	1,73
0,19 „ 0,15	7,34	6,12	2,86	1,73	0,318
0,15 „ 0,05	4,37	2,43	1,28	0,948	0,276
0,05 „ 0,005	0,3	0,18	0,11	0,083	0,028
Bei 200° getrocknet:					
1,0 bis 0,75	88,6	29,84	26,31	7,94	4,23
0,75 „ 0,5	56,4	27,91	15,48	6,21	3,85
0,5 „ 0,32	31,76	15,4	11,34	5,13	2,64
0,32 „ 0,19	14,25	9,13	6,0	3,76	1,36
0,19 „ 0,15	8,00	6,38	3,1	2,0	0,461
0,15 „ 0,05	5,10	2,81	1,3	1,17	0,284
0,05 „ 0,005	0,41	0,37	0,3	0,25	0,12
Bei 1000° geglüht:					
1,0 bis 0,75	90,6	31,21	29,41	7,64	3,87
0,75 „ 0,5	58,31	28,74	19,46	7,18	4,65
0,5 „ 0,32	32,81	16,6	15,78	14,39	5,46
0,32 „ 0,19	15,84	7,15	6,76	10,71	2,18
0,19 „ 0,15	8,49	6,99	3,74	2,28	0,51
0,15 „ 0,05	5,38	3,74	1,89	1,52	0,378
0,05 „ 0,005	0,593	0,388	0,32	0,28	0,14

Zahlentafel 12. Gasdurchlässigkeit in cm³ Luft/cm³ Sand und Minute. Kaolinkorngröße 0,001 bis 0,000002 mm Durchmesser.

Quarzkorngröße Durchmesser mm	Tongehalt 5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Feucht:					
1,0 bis 0,75	51,7	41,18	23,08	4,53	0,583
0,75 „ 0,5	34,3	24,84	10,55	4,11	1,18
0,5 „ 0,32	21,28	9,93	9,12	3,75	2,2
0,32 „ 0,19	12,24	5,86	3,99	2,72	1,46
0,19 „ 0,15	6,98	4,65	2,54	1,50	0,296
0,15 „ 0,05	4,21	1,97	1,16	0,632	0,214
0,05 „ 0,005	0,28	0,2	0,12	0,061	0,02
Bei 200° getrocknet:					
1,0 bis 0,75	75,3	37,5	26,24	7,13	3,81
0,75 „ 0,5	53,1	27,0	14,93	5,82	3,29
0,5 „ 0,32	30,5	14,0	10,18	4,76	2,28
0,32 „ 0,19	12,17	8,25	6,15	3,29	0,97
0,19 „ 0,15	7,65	7,11	2,94	1,65	0,44
0,15 „ 0,05	5,38	2,86	1,27	1,0	0,19
0,05 „ 0,005	0,56	0,35	0,19	0,18	0,11
Bei 1000° geglüht:					
1,0 bis 0,75	91,4	49,0	29,28	7,51	4,22
0,75 „ 0,5	57,3	27,9	17,86	6,49	3,90
0,5 „ 0,32	31,4	14,4	12,54	5,23	4,84
0,32 „ 0,19	14,6	6,48	7,35	3,87	1,58
0,19 „ 0,15	7,38	5,83	4,18	2,13	0,67
0,15 „ 0,05	5,19	3,51	2,23	1,34	0,28
0,05 „ 0,005	0,46	0,34	0,36	0,27	0,16

Im vorliegenden praktischen Fall[13]) sei einmal als spezifische Oberfläche das Verhältnis der Gesamtoberfläche einer Suspension kugelförmiger Teilchen einheitlicher Korngröße zu einer solchen von gleichem Gewicht, jedoch mit einer Korngröße von 1 mm Dmr., und ferner einer Suspension gemischter Korngrößen zu derjenigen gleichen Gewichtes und 1 mm Korndurchmesser ausgedrückt. Die spezifischen Gewichte der untersuchten Sande sollen dabei als gleich groß angenommen werden. Sind in einer Suspension gemischter Korngrößen die Korngrößen der Menge nach bekannt, so läßt sich die Summe der spezifischen Oberflächen, also die gesamte spezifische Oberfläche berechnen. Die Mengenanteile der einzelnen Korngrößen in der Mischung ergeben sich aus den Fallkurven des Sedimentierverfahrens durch Anlegung der Tangenten an dieselbe. Die spezifische Oberfläche einer Korngrößenklasse läßt sich nach folgender Gleichung[14]) berechnen:

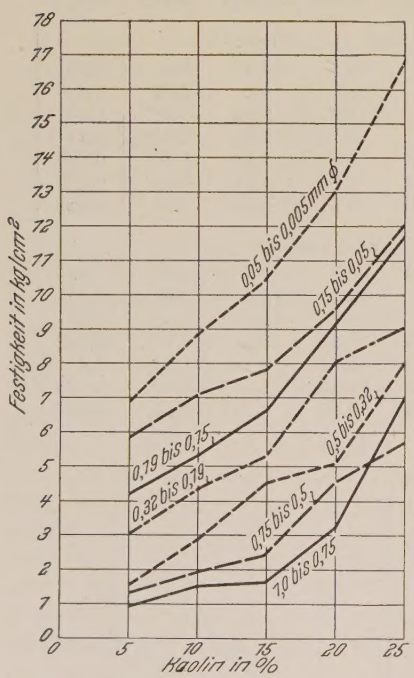

Abbildung 5.
Festigkeit (bei 1000° geglüht).

$$\triangle U = 1{,}44266 \cdot \frac{2^e - 2^a}{e - a} \cdot g.$$

Hierin ist g das Gewicht der Korngruppe, meistens gleich 100 gesetzt; e und a sind negative Exponenten der Korngrößen.

Für eine Mischung verschiedener Korngrößen ist die gesamte spezifische Oberfläche

$$U = U_1 \cdot \frac{G_1}{100} + U_2 \cdot \frac{G_2}{100} + \ldots \text{ usw.}$$

Das Gesamtgewicht der Mischung ist hier gleich 100 gesetzt.

G_1 ist der Gewichtsanteil der Korngruppe mit Durchmessern zwischen d_1 und d_2,

G_2 ist der Gewichtsanteil der Korngruppe mit Durchmessern zwischen d_2 und d_3 usw.

U_1, U_2 usw. sind die zugehörigen spezifischen Oberflächen dieser Korngruppen. Um nach dieser Gleichung die spezifische Oberfläche eines Sandes vollkommen zu erhalten, ist es freilich nötig, für die kleinsten Teilchen eine Annahme zu machen. Wie schon früher erwähnt, kommen in einem Sande auch ultramikroskopische Teilchen, also Korngrößen von der Ausdehnung eines Moleküls vor = 1 μμ. Betrachten wir diese Größe als Flüssigkeit und die nächsthöhere als fest, also als Suspensoidsol dem dispersen Zustand angehörend, so ist der Fehler unbedeutend, wenn wir 2 μμ als unterste Grenze der Kaolinteilchen annehmen und danach die spezi-

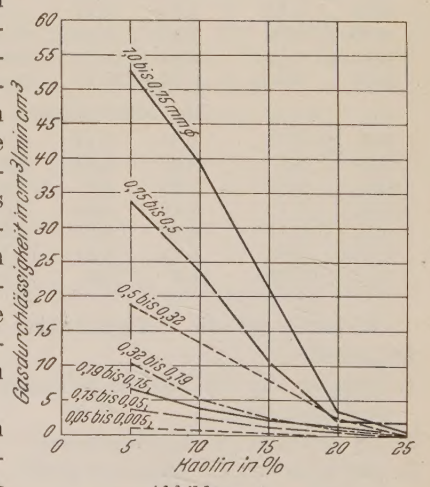

Abbildung 6.
Gasdurchlässigkeit (feucht).

[13]) Landwirtsch. Jahrbücher 1923, S. 159.
[14]) Der Kulturtechniker 1923, Heft 2/3, S. 100.

fischen Oberflächenanteile der Quarz- und Kaolinteilchen berechnen. Mag diese Methode auch eine umfangreichere Rechnung erfordern, so soll sie hier in Anbetracht ihrer größeren Genauigkeit doch angewandt werden (Zahlentafel 13a).

Zahlentafel 13a. Spezifische Oberflächen der Quarz- und Kaolinkorngrößenklassen.

Korngröße in mm Dmr.	Korngröße in 2^{-x}	Spezifische Oberfläche U
1,0 bis 0,75	2^{0} bis $2^{-0,411}$	1,15
0,75 „ 0,50	$2^{-0,411}$ „ 2^{-1}	1,643
0,50 „ 0,32	2^{-1} „ $2^{-1,647}$	2,53
0,32 „ 0,19	$2^{-1,647}$ „ $2^{-2,395}$	4,09
0,19 „ 0,15	$2^{-2,395}$ „ $2^{-2,73}$	6,00
0,15 „ 0,05	$2^{-2,73}$ „ $2^{-4,33}$	12,04
0,05 „ 0,005	$2^{-4,38}$ „ $2^{-7,65}$	79,50
0,005 „ 0,002	$2^{-7,65}$ „ $2^{-8,97}$	327,80
0,002 „ 0,001	$2^{-8,97}$ „ $2^{-9,97}$	721,32
0,001 „ 0,000002	$2^{-9,97}$ „ $2^{-18,92}$	80 150,00

Die spezifischen Oberflächen der verschiedenen untersuchten Mischungen von Quarz- und Tonkorngrößen sind nun berechnet und in Zahlentafel 13 wiedergegeben. Man ersieht, daß etwa von der Korngröße 5 µ ein außerordentliches Anwachsen der Zahlengrößen beginnt.

Um nun zu einer Beziehung zu kommen zwischen der Standfestigkeit und Gasdurchlässigkeit von Formsandproben einerseits und den spezifischen Oberflächen der Sande anderseits, sei auf die vorher gemachte Feststellung verwiesen, wonach die Festigkeitwerte mit Abnahme der Quarzkorngröße und Zunahme des Kaolingehaltes steigen.

Die Festigkeitwerte müssen daher mit den spezifischen Oberflächen des Quarzkornanteiles und des Kaolins in Verbindung gebracht werden können. Die Gasdurchlässigkeit dagegen war von der Größe des Quarzkornes in dem Sinne abhängig, daß sie wächst mit zunehmendem Korndurchmesser, also mit abnehmender spezifischer Oberfläche. In bezug auf die Kaolinbeimengung konnte festgestellt werden, daß die Größe der Teilchen auch von Einfluß sein kann, daß demgegenüber aber der gewichtsmäßige Anteil des Kaolins am Formsand in seiner Beziehung zur Gasdurchlässigkeit bei weitem überwiegt. Daher erscheint es hier richtiger, die Gasdurchlässigkeit mit der spezifischen Oberfläche des Quarzanteiles und der Kaolinmenge in Beziehung zu setzen. Aus diesen Abhängigkeiten geht hervor, daß es angebracht ist, die spezifischen Oberflächen des Quarzes und des Kaolins gesondert zu bestimmen und nicht die geringen Werte der spezifischen Oberflächen des Quarzes in den bedeutend größeren des Kaolins aufgehen zu lassen. Dementsprechend sind in Zahlentafel 13 die spezifischen Oberflächen der in den Zahlentafeln 7 bis 12 untersuchten synthetischen Formsande nach Quarz und Kaolin gesondert berechnet.

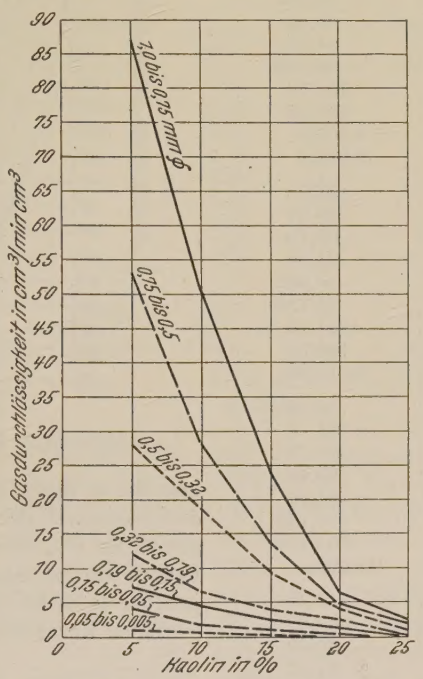

Abbildung 7. Gasdurchlässigkeit (bei 200° getrocknet).

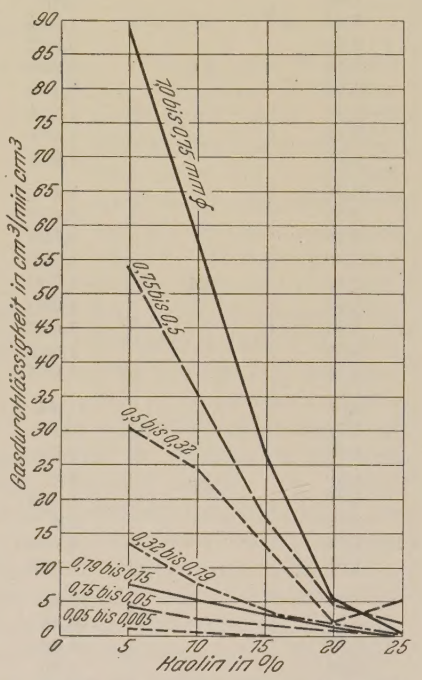

Abbildung 8. Gasdurchlässigkeit (bei 1000° geglüht).

Zahlentafel 13. Spezifische Teiloberflächen der in den Zahlentafeln 7 bis 12 untersuchten synthetischen Formsande.

Quarzkorngröße mm	Kaolinkorngröße mm	Tongehalt Quarz 5 %	Kaolin 5 %	Quarz 10 %	Kaolin 10 %	Quarz 15 %	Kaolin 15 %	Quarz 20 %	Kaolin 20 %	Quarz 25 %	Kaolin 25 %
1,0 bis 0,75	0,005 bis 0,002	1,092	16,39	1,036	32,78	0,977	49,27	0,920	65,4	0,862	81,9
0,75 „ 0,5	0,005 „ 0,002	1,561	16,39	1,479	32,78	1,398	49,27	1,314	65,4	1,232	81,9
0,5 „ 0,32	0,005 „ 0,002	2,401	16,39	2,275	32,78	2,150	49,27	2,023	65,4	1,896	81,9
0,32 „ 0,19	0,005 „ 0,002	3,885	16,39	3,680	32,78	3,475	49,27	3,270	65,4	3,065	81,9
0,19 „ 0,15	0,005 „ 0,002	5,700	16,39	5,400	32,78	5,100	49,27	4,800	65,4	4,500	81,9
0,15 „ 0,05	0,005 „ 0,002	11,44	16,39	10,85	32,78	10,23	49,27	9,64	65,4	9,04	81,9
0,05 „ 0,005	0,005 „ 0,002	75,50	16,39	71,50	32,78	67,50	49,27	63,50	65,4	59,5	81,9
1,0 bis 0,75	0,002 bis 0,001	1,092	36,066	1,036	72,132	0,977	108,198	0,920	144,264	0,862	180,330
0,75 „ 0,5	0,002 „ 0,001	1,561	36,066	1,479	72,132	1,398	108,198	1,314	144,264	1,232	180,330
0,5 „ 0,32	0,002 „ 0,001	2,401	36,066	2,275	72,132	2,150	108,198	2,023	144,264	1,896	180,330
0,32 „ 0,19	0,002 „ 0,001	3,885	36,066	3,680	72,132	3,475	108,198	3,270	144,264	3,065	180,330
0,19 „ 0,15	0,002 „ 0,001	5,700	36,066	5,400	72,132	5,100	108,198	4,800	144,264	4,500	180,330
0,15 „ 0,05	0,002 „ 0,001	11,44	36,066	10,85	72,132	10,23	108,198	9,64	144,264	9,04	180,330
0,05 „ 0,005	0,002 „ 0,001	75,50	36,066	71,50	72,132	67,50	108,198	63,50	144,264	59,5	180,330
1,0 bis 0,75	0,001 bis 0,000002	1,092	4007,5	1,036	8015,0	0,977	12 022,5	0,920	16 030,0	0,862	20 037,5
0,75 „ 0,5	0,001 „ 0,000002	1,561	4007,5	1,479	8015,0	1,398	12 022,5	1,314	16 030,0	1,232	20 037,5
0,5 „ 0,32	0,001 „ 0,000002	2,401	4007,5	2,275	8015,0	2,150	12 022,5	2,023	16 030,0	1,896	20 037,5
0,32 „ 0,19	0,001 „ 0,000002	3,885	4007,5	3,680	8015,0	3,475	12 022,5	3,270	16 030,0	3,065	20 037,5
0,19 „ 0,15	0,001 „ 0,000002	5,700	4007,5	5,400	8015,0	5,100	12 022,5	4,800	16 030,0	4,500	20 037,5
0,15 „ 0,05	0,001 „ 0,000002	11,44	4007,5	10,85	8015,0	10,23	12 022,5	9,64	16 030,0	9,04	20 037,5
0,05 „ 0,005	0,001 „ 0,000002	75,50	4007,5	71,50	8015,0	67,50	12 022,5	63,50	16 030,0	59,5	20 037,5

Man nimmt nun zum Ausgangspunkt der Versuchswertung den bei 200° getrockneten Formsand, da der Formsand in feuchtem Zustand seine Eigenschaften analog denen bei 200° getrockneten um einen gleichbleibenden Prozentsatz verringert und in geglühtem Zustand dementsprechend

Zahlentafel 14.

Festigkeit kg/cm²	Festigkeit im Mittel kg/cm²	Spezifische Oberflächen	
		des Quarzes	des Kaolins
1,64		3,885	16,39
1,33		2,275	32,78
1,405		2,150	49,27
1,82	1,6	0,92	62,40
1,38		2,275	72,132
1,72		1,398	108,198
1,93		1,092	4007,5
2,87		5,7	16,39
2,65		3,68	32,78
2,24		1,314	65,40
2,65		0,862	81,90
2,54	2,6	3,885	36,066
2,24		2,150	108,19
2,81		1,314	144,26
2,32		1,561	4 007,5
2,78		1,036	8 015,0
3,26		5,4	37,78
3,57		3,475	49,27
3,20		2,023	65,40
3,20		1,232	81,90
3,15	3,4	5,700	36,066
3,61		3,680	72,132
3,84		2,023	144,26
3,69		1,232	180,33
3,20		2,275	8 015,00
4,06		11,44	16,39
4,61		10,85	32,78
4,49		5,10	49,27
4,15		3,27	65,40
4,86	4,5	1,896	81,90
4,69		5,4	72,132
4,78		3,475	108,198
4,03		1,398	12 022,5
5,38		75,5	16,39
5,97		10,23	49,27
5,62		4,80	65,40
5,81		4,50	81,90
5,82		11,40	36,066
5,32	5,6	5,10	108,198
5,16		3,27	144,264
5,60		1,896	180,33
5,61		3,885	4 007,5
5,45		2,150	12 022,5
5,54		0,92	16 030,0
6,27		71.50	32,78
6,84		9,60	65,40
6,72	6,5	10,85	72,132
6,41		4,80	144,264
6,20		1,314	16 030,0
7,98		67,5	49,27
7,50		9,04	81,90
7,12	7,4	5,70	4 007,5
7,39		3,68	8 015,0
7,20		0,862	20 037,0

erhöht, und sucht aus Zahlentafel 7 bis 9 die Werte gleicher Festigkeiteigenschaften heraus, wie sie in Zahlentafel 14 aufgeführt sind, die gleichzeitig die zu diesen Festigkeiten gehörenden spezifischen Oberflächen enthält.

Trägt man nun, wie Abb. 9 zeigt, die spezifische Oberfläche des Quarzes in einem Koordinatensystem als Abszisse und die spezifische Oberfläche des Kaolins als Ordinate ein, so erhält man Linien gleicher mittlerer Festigkeiten, wie sie der Durchschnitt für eine bestimmte Festigkeitgruppe in Zahlentafel 14 ergibt. Zur besseren Erfassung kleinster und größter spezifischer Oberflächen wird bei der Darstellung das logarithmische Koordinatensystem gewählt. Es zeigt sich hier, daß z. B. eine Festigkeit von 2,6 kg/cm² in allen möglichen Mischungen von Quarzkorn- zu Kaolinteilchenoberfläche erhalten werden kann. Der Uebersichtlichkeit wegen sind hier nur die gebräuchlichsten Festigkeiten von etwa 1 bis 8 kg/cm² angeführt. Setzt man ferner die spezifische Oberfläche des Quarzes in Beziehung zum gewichtsmäßigen Anteil des Kaolins der Sandmischung, so erhält

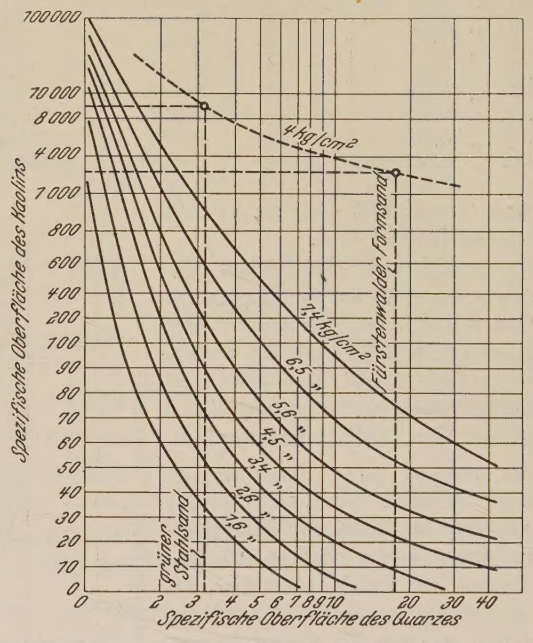

Abbildung 9. Linien gleicher Festigkeiten in kg/cm².

man die zu diesen Festigkeiten gehörenden Linien der Gasdurchlässigkeit, die ihren besten Durchlässigkeitwert naturgemäß bei 0% Kaolin haben (Abb. 10). Gewisse Schwankungen werden dabei natürlich immer vorkommen, da man ja schon beim Klassieren der Quarzkörner durch Sieben die einzelnen Kornabmessungen nicht fest in der Hand hat.

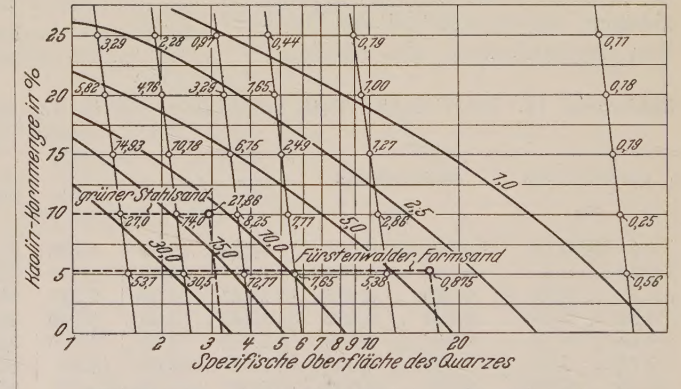

Abbildung 10. Gasdurchlässigkeit in cm³/cm³ Sand je min.

Auf Grund dieser beiden Abbildungen läßt sich ein praktisch brauchbares Arbeitsverfahren entwickeln. Angenommen, für einen bestimmten Formzweck werde ein Formsand verlangt mit zahlenmäßig festgelegten Festigkeit- und Gasdurchlässigkeitwerten. In dem Koordinatensystem der Abb. 10 sucht man zunächst beliebig einen der zahllosen Punkte, der dem geforderten Gasdurchlässigkeitswert entspricht, und liest die zugehörige spezifische Oberfläche des Quarzes ab. Mit diesem Wert geht man bei Abb. 9 von der Abszisse bis zu der Kurve des verlangten Festigkeitwertes. Nun holt man von der Ordinate den Wert

der spezifischen Oberfläche des Kaolins und berechnet, ob dieser mit der aus Abb. 10 entnommenen Kaolinmenge durch Wahl der Korngrößenklassen des Kaolins in Uebereinstimmung gebracht werden kann. Ist dies nicht der Fall, so muß ein anderer Punkt in Abb. 10 gewählt werden. Zur Vereinfachung des Verfahrens kann man die Beziehungen zwischen Kaolinmengen, Korngrößen und spezifischen Oberflächen als Zahlentafel bereithalten.

Zum Schluß ist noch versucht worden, festzustellen, wieweit die natürlichen Formsande sich in ein solches System einordnen lassen. Hierfür wurden zwei Vertreter herausgesucht, die hinsichtlich ihrer spezifischen Oberflächenanteile und auch ihres Tongehaltes extreme Fälle bilden. Es ist dies

Zahlentafel 15.

Korngröße Durchmesser mm	Spezifische Oberflächen des Fürstenwalder Formsandes: Gewichtsanteile %	Spezifische Oberfläche des Quarzes	Spezifische Oberfläche des Tones	grünen Stahlsandes: Gewichtsanteile %	Spezifische Oberfläche des Quarzes	Spezifische Oberfläche des Tones
1,0 bis 0,75	0,81	0,009		56,85	0,654	
0,75 „ 0,5	—	—		20,71	0,341	
0,5 „ 0,32	3,19	0,081		4,28	0,108	
0,32 „ 0,19	2,85	0,117		4,83	0,197	
0,19 „ 0,15	6,81	0,409		0,13	0,008	
0,15 „ 0,05	69,92	8,42		0,37	0,045	
0,05 „ 0,005	10,185	8,1		2,23	1,772	
0,005 „ 0,002	1,475	—	4,84	—	—	—
0,002 „ 0,001	1,31	—	9,46	—	—	—
0,001 „ 0,000002	3,44	—	2760,0	10,7	—	8580,0
Summe:	99,99	17,136	2774,3	100,1	3,125	8580,0
Gasdurchlässigkeit	0,857 cm^3/cm^3 u. min			21,86 cm^3/cm^3 u. min		
Festigkeit	3,85 kg/cm^2			4,29 kg/cm^2		

der Fürstenwalder Formsand und der grüne Stahlsand, der bereits eingangs in Zahlentafel 2 und 3 besprochen wurde. Beide Sande weisen eine gleiche Festigkeit von etwa 4 kg/cm^2 auf, sind aber grundverschieden gasdurchlässig. Zahlentafel 15 gibt die einzelnen Gewichtsanteile der Korngruppen und die spezifischen Oberflächen der Quarz- und der Tonteilchen an. Trägt man diese Werte nun in das logarithmische Koordinatensystem ein (Abb. 9 und 10), so ergibt sich für die Festigkeitlinie derselbe Verlauf. Sonst liegt die Kurve außerhalb der bei synthetischen Formsanden gefundenen Kurven gleicher Festigkeiten. Dieses war, wie bereits eingangs erwähnt, vorauszusehen, da schon z. B. geringe Mengen Eisengehalt die Festigkeit erhöhen. Hingegen spielen diese Stoffe bei der Gasdurchlässigkeit keine große Rolle, und die gefundenen Werte entsprechen denen der synthetischen Formsande gut.

Welche Folgerungen lassen sich nun aus diesen Untersuchungen ziehen und zum anderen, welche Bedeutung haben sie für die Praxis?

An Hand von synthetischen Formsanden wurde gezeigt, wie es möglich ist, die Gasdurchlässigkeit und die Festigkeit in eine gewisse Abhängigkeit von der spezifischen Oberfläche der festen und der plastischen Teilchen eines Sandes zu bringen, ohne, wie es bisher üblich war, die festen Teilchen noch in verschiedene Untergruppen zu teilen und dadurch die Aufstellung eines Systems unnötig zu erschweren. Damit scheint auch der Weg gegeben, die Natursande, wenn sie in der beschriebenen Art untersucht werden, nach der Größe ihrer spezifischen Oberflächen zu normen. Man kann diese Untersuchung sogar bedeutend vereinfachen und dabei z. B. noch größere Genauigkeit erzielen, wenn man auf die Seidensiebe verzichtet und den Formsand so, wie er aus der Grube kommt, ablagert. Zur Ablagerung werden vier bis fünf Tage genügen, um die Fallkurve mit ausreichender Genauigkeit aufzunehmen. Zuverlässiger ist das Verfahren jedoch bei der Herstellung synthetischer Sande, da hier die Nebeneinflüsse anderer Mineralien, ungleicher Kornformen, sinternder Beimengungen fortfallen. Aufgabe des Praktikers wird es sein, für jedes Gußstück an Hand der genormten Sande den Sand mit den besten Eigenschaften herauszufinden. Dies kann natürlich am einfachsten bei Massenartikeln zuerst untersucht werden. Hier können Fehlgüsse und ihr Zusammenhang mit dem Formsand erforscht werden.

Zusammenfassung.

Nach Sichtung des bisherigen Schrifttums über Formsanduntersuchungen wurde das Unzulängliche der Beurteilung eines Sandes lediglich nach seiner Quarzkorngröße und der Korngruppenanteile erkannt. Nach Besprechung der Bestimmung der Quarzkorn- und Tonteilchengröße bei Formsanden und der Teilchengröße von reinstem Ton (Kaolin) im Sedimentierverfahren werden die Versuchsanordnung und das Berechnungsverfahren der Gehalte an kleinsten Teilchen bei Formsand eingehend erklärt. Die hierbei auftretenden Begleiterscheinungen des Koagulierens und der Hydration werden besprochen und durch Versuche als eine Folge der durch geeigneten Elektrolytzusatz stattgehabten Adsorption durch Ton festgestellt. Eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften des Tones, also der Festigkeit und der Gasdurchlässigkeit, findet durch solche Elektrolytzusätze nicht statt, und es konnten deshalb eine große Reihe synthetischer Formsande verschiedenster Korngrößen sowohl des Quarzes als auch des Kaolins hergestellt und frei von irgendwelchen Verunreinigungen auf ihre Eigenschaften geprüft werden. Die Prüfverfahren werden dargelegt und nach einer Besprechung der verschiedene Formsandverbrauch bei gleicher Stampfarbeit sowie der verschiedene Wasserzusatz je nach der Menge des Kaolingehaltes erörtert. Die Versuchsergebnisse werden nach dem Begriff der spezifischen Oberfläche systematisch ausgewertet. Die Berechnung der spezifischen Teiloberflächen wird erklärt und daraus das für den Praktiker wichtige Gattieren synthetischer Formsande beschrieben. Die Bedeutung dieses Systems wird an Hand von natürlichen Formsandbeispielen auch für letztere als richtig befunden.

* * *

Es sei mir gestattet, Herrn Professor Diepschlag für die Anregung zu dieser Arbeit und für das Interesse, das er den Versuchen entgegenbrachte, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Ich bin geboren am 4. Juni 1896 zu Stoberau in Schlesien als Sohn des verstorbenen staatlichen Försters Heinrich Teuber und besuchte bis zum Kriegsausbruch das staatliche Friedrichsgymnasium in Breslau, von wo ich 1914 als Kriegsfreiwilliger ins Feld zog. Nach meiner Entlassung aus dem Heeresdienste als Reserveoffizier im Dezember 1918 nahm ich als Freiwilliger am Oberschlesischen Grenzschutz bis August 1919 teil, besuchte dann das König-Wilhelms-Gymnasium in Breslau, das ich im März 1920 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Mein Studium in der Fachrichtung Eisenhüttenkunde begann ich im Sommersemester 1920 an der Technischen Hochschule in Breslau. In den akademischen Ferien arbeitete ich in verschiedenen Hüttenwerken Oberschlesiens. Nach Ablegung des Diplom-Hauptexamens im Januar 1926 war ich ein Jahr Assistent bei Herrn Professor Diepschlag an der Technischen Hochschule in Breslau und mit den Versuchen für vorliegende Doktorarbeit beschäftigt. Seitdem erwarb ich mir praktische Kenntnisse im Städtischen Gaswerk, Breslau, im Hansawerk, Uelzen, als Wärmeingenieur, ferner in mehreren Gießereien des Siegerlandes und im Stahlwerk der Rheinischen Metallwaaren- und Maschinenfabrik, Düsseldorf. Zur Zeit bin ich im Kokerei-Baubüro der Gräflich Schaffgotsch'schen Werke in Gleiwitz tätig.

Gleiwitz, im Mai 1931.

H. Teuber,
Diplomingenieur.

Druck von A. Bagel Aktiengesellschaft in Düsseldorf.